Aus der Medizinischen Klinik B der Universität Düsseldorf

Direktor: Prof. Dr. F. Loogen

Zur Trainierbarkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Helge Störiko

1985

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Aus der Medizinischen Klinik B der Universität Düsseldorf

Direktor: Prof. Dr. F. Loogen

Zur Trainierbarkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Helge Störiko

1985

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

gez:	Referent:
Prof.Dr.A.Hopf	Prof.Dr.H.Worth
Dekan der Medizinischen	Korreferent:
Fakultät	Prof.Dr.G.Goeckenjan

Inhalt:

		Seite
Zusammenfassung:		1
Einleitung:		3
Methodik :	Auswahl der Probanden	4
	Trainingsprogramm	5
	Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln	6
	Auswertung der Messergebn.	8
Ergebnisse:		9
Diskussion:	Kritik der Methodik	11
	Interpretation der Messergebnisse	14
	Vergleich mit Angaben in der Literatur	16
	Schlußfolgerungen	17
Literatur :		19
Anhang :	Tabellen	20 - 25
Lebenslauf:		26

Zusammenfassung:

Um die Auswirkungen eines körperlichen Trainings auf die Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln zu untersuchen, wurde die Ermüdbarkeit von Atem- (Mm.intercostales ext.) und Beinmuskeln (M.gastrocnemius) an 10 Patienten (Alter:21-64 Jahre) mit obstruktiven Atemwegserkrankungen (Gruppe A) während eines 3 Monate dauernden Trainingsprogramms (Treppensteigen) bestimmt und mit entsprechenden Daten einer Kontrollgruppe aus 6 Patienten (Alter: 16-55 Jahre) verglichen (Gruppe B). Die Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln wurde mit Hilfe der elektromyographisch feststellbaren Muskelermüdung bei Atmung durch zunehmende externe Stenosen sowie durch Messung der maximalen in- und exspiratorischen Munddrücke bestimmt, die der Beinmuskeln durch Treten gegen wachsende Widerstände. Zusätzlich wurden in beiden Gruppen Standardparameter der Lungenfunktion (Lungenvolumina, FEV_1, Atemwegswiderstand, Blutgase) während der Untersuchungsperiode mehrfach gemessen.
Bei 9 Patienten der Gruppe A ließen sich Trainingseffekte für die Beinmuskeln nachweisen, eine geringere Ermüdbarkeit der Atemmuskeln fand sich hingegen nur in 4 Fällen. In Gruppe B änderte sich die Ermüdbarkeit von Atem- und Beinmuskeln während der Meßperiode nicht.
Die maximalen in- und exspiratorischen Munddrücke sowie die Lungenfunktionsparameter zeigten keine signifikanten Änderungen in beiden Gruppen.
Somit kann durch ein für die Atemmuskeln nicht spezifisches körperliches Training deren Leistungsfähigkeit bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen nur in einem Teil der Fälle gesteigert werden.
Schlüsselwörter: Atemmuskeln - obstruktive Atemwegserkrankungen - Muskelermüdung - EMG

Einleitung

Bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen ist die Atemarbeit infolge der notwendigen Kompensation der Obstruktion durch eine verstärkte Aktivität der Atemmuskeln wesentlich höher als bei lungengesunden Probanden (21,23). Eine gleichzeitig bestehende Lungenüberblähung kann das Kontraktionsverhalten der inspiratorisch wirksamen Muskeln, insbesondere das Diaphragma, zusätzlich mechanisch ungünstig beeinflussen (24). So wird verständlich, daß bei Patienten mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen die Atemmuskeln leichter ermüden (4,22) als bei lungengesunden Probanden. Die leichtere Ermüdbarkeit der Atemmuskeln kann sich zunächst in einer Limitierung der körperlichen Belastbarkeit manifestieren (26), bei ausgeprägten Atemwegsobstruktionen kann hierdurch auch eine Hyperkapnie hervorgerufen werden (8). Neben der medikamentösen Behandlung der Atemwegsobstruktion kommen zur Therapie dieser Patienten auch Maßnahmen in Betracht, die Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln stärken. Ob dies mit Hilfe der Gabe von Theophyllinen möglich ist, ist derzeit umstritten (cf.17). Alternativ bieten sich verschiedene Trainingsverfahren an, die unspezifisch durch vermehrte

körperliche Aktivität oder spezifisch, etwa durch Inspiration über externe Widerstände oder durch isokapnische Hyperventilation, Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln steigern sollen (cf.1). Da in nur wenigen bisher durchgeführten Arbeiten die Trainierbarkeit der Atemmuskeln im Vergleich zu einer untrainierten Kontrollgruppe geprüft wurde und da die Ergebnisse widersprüchlich sind, war es das Ziel der vorliegenden Studie, die Auswirkungen unspezifischen körperlichen Trainings auf die Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion im Vergleich zu einer nicht trainierten Kontrollgruppe zu untersuchen.

Methodik

Auswahl der Probanden

Die Untersuchungen der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln erfolgte vergleichend an 10 Patienten (3 Männer, 7 Frauen) im Alter von 21-64 Jahren (Gruppe A), die sich einem 3-monatigen körperlichen Training unterzogen, und an 6 Patienten (2 Männer, 4 Frauen) im Alter von 16-55 Jahren ohne Trainingsprogramm (Gruppe B). Biometrische Daten und die Ausgangswerte einiger Lungenfunktionsparameter zu Beginn der Studie sind in Tab. 1 für beide Gruppen gegenübergestellt. Bei allen Patienten war eine chronische Atemwegsobstruktion bekannt. In Gruppe A litten 6 Patienten an einem Asthma bronchiale und 4 an einer chronisch obstruktiven Bronchitis, in Gruppe B wurde bei 4 Patienten ein Asthma bronchiale, in 2 Fällen eine chronisch obstruktive Bronchitis diagnostiziert.
Der bodyplethysmographisch bestimmte Atemwegswiderstand

lag bei allen Patienten zu Beginn des Beobachtungszeitraumes höher als 3,5 cm $H_2O/l/s$. Patienten mit Hyperkapnie wurden ausgeschlossen, da diese möglicherweise als eine Kontraindikation gegen ein Atemmuskeltraining anzusehen ist (cf.8).

Alle Patienten erhielten Broncholytika und standen unter einer Kombinationsbehandlung aus B_2-Sympathikomimetika, Theophyllinpräparaten und Sekretolytika; dieses Therapieregime wurde während der Verlaufsuntersuchungen der vorliegenden Studie nicht geändert. Patienten, die infolge ihrer Atemwegsobsruktion während des Beobachtungszeitraumes kortikoidbedürftig wurden oder infolge Zunahme der asthmatischen Beschwerden stationär behandelt werden mussten, wurden bei der Verlaufsmessung nicht weiter berücksichtigt, so daß in Gruppe A von ursprünglich 15 Patienten 10, und in Gruppe B von 11 Patienten nur 6 in die Studie aufgenommen wurden. Die Patienten verrichteten während des Beobachtungszeitraumes ihre gewohnte tägliche Arbeit, ihr Gesundheitszustand war für den gesamten Beobachtungszeitraum von 3 Monaten stabil. Keiner der Patienten war in seiner Belastbarkeit durch Erkrankungen des kardiovaskulären Systems limitiert.

Trainingsprogramm

Die Messungen in den Gruppen A und B schlossen sich bei allen Patienten an einen stationären Aufenthalt an.

Das Training der Gruppe A umfasste 3 mal pro Tag schnelles, mit der Stoppuhr überwachtes Treppensteigen, wobei Stufenzahl und Geschwindigkeit des Steigens unter wöchentlicher Kontrolle gesteigert wurden, wenn dies mit dem subjektiven Befinden der Probanden vereinbar war.

Abbruchkriterium der Belastung war Luftnot. Das Trainingsprogramm und seine Ausführung wurden von den Probanden unter ärztlicher Überwachung begonnen und täglich protokolliert. Die Beurteilung der Trainingsleistung basierte auf einem Produkt aus Stufenzahl und Steiggeschwindigkeit. Die Trainingsdauer lag für die Probanden der Gruppe A bei 12 Wochen, ebenso lang war der Beobachtungszeitraum für die Patienten der Kontrollgruppe. Ein Patient der Gruppe A trainierte lediglich 7 Wochen, bei 2 der 6 Patienten der Gruppe B betrug die Beobachtungsperiode ebenfalls nur 7 Wochen.

Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln

Folgende Kenngrössen der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln wurden vor Trainings- (Gruppe A) bzw. Beobachtungsbeginn (Gruppe B) sowie in der 1.,2.,3.,5.,7. und 12. Woche während der Untersuchungsperiode bestimmt:

1) Maximale in- und exspiratorische Munddrücke ($P_{I\ MAX}$ und $P_{E\ MAX}$)

$P_{I\ MAX}$ wurde nach einer normal tiefen Exspiration, d.h. von FRC aus, bei maximaler Inspiration mit einem Quecksilbermanometer gemessen, $P_{E\ MAX}$ während maximaler Exspiration nach vorangegangener tiefer Inspiration, wobei die Probanden eine Nasen- und eine Wangenklemme trugen. Von jeweils 3 Versuchen zählten die jeweiligen Höchstwerte.

2) Ermüdbarkeit der Atemmuskeln

Die Ermüdbarkeit der Atemmuskeln (Mm. intercostales ext.) wurde bei Atmung durch vorgeschaltete in- und exspiratorisch wirksame Widerstände gemessen. Zum Vergleich

und zur Kontrolle des Trainings erfolgte auch die Bestimmung der Beinmuskelermüdung (M.gastrocnemius) durch Treten gegen stufenweise linear zunehmende Widerstände eines Federbrettes (29).

Die ebenfalls stufenweise regulierbaren externen Atemwiderstände wurden mit einem Bodyplethysmographen geeicht. Bei einer Stromstärke von 1 l/s lagen sie zwischen 0,5 und 80,0 cm H_2O/l/s. Während der Messungen atmeten die Probanden jeweils 10 s durch jeden der stufenweise zunehmenden vorgeschalteten Widerstände, bis elektromyographisch eine Ermüdung sichtbar war.

Die Bestimmung der Ermüdungsgrenze der Atem- und Beinmuskeln erfolgte elektromyographisch nach dem von Kaiser und Petersen (15) beschriebenen Verfahren über Oberflächenelektroden, die für die Mm.intercostales ext. zwischen dem 2.,3., bzw. dem 4. Intercostalraum rechts parasternal, zur Ableitung der Aktivität des M. gastrocnemius auf der dorsalen Seite des Unterschenkels befestigt waren.

Aus dem Frequenzspektrum der Elektromyogramme werden ein niedriger (15-40 Hz) und ein hoher (150-350 Hz) Frequenzbereich herausgefiltert. Die Amplituden beider Frequenzbereiche, die in Form eines gleichgerichteten Signals geglättet werden, nehmen mit zunehmender Muskelbelastung zunächst zu. Die Ermüdungsgrenze des Muskels zeigt sich daran, daß das Signal des hohen Frequenzbereiches nicht mehr so stark zunimmt wie das des niederfrequenten Bereiches, d.h. das Verhältnis 'hoch/niedrig' nimmt ab. Bei 80 % der Patienten erfolgte kurz nach der Registrierung des Ermüdungspunktes der Hinweis , daß die momentane Belastung nicht mehr länger

durchgehalten werden könne.

3) Kenngrössen der Lungenfunktion

Parallel mit der Messung der Leistungsfähigkeit der Atem- und Beinmuskeln wurden folgende Standardparameter der Lungenfunktion bestimmt:

- die Lungenvolumina Vitalkapazität (VK), Residualvolumen (RV), intrathorakales Gasvolumen (TGV), sowie die Einsekundenkapazität (FEV_1).
- der Atemwegswiderstand (Raw) mit dem Bodyplethysmographen
- die Blutgase aus dem arterialisierten Kapillarblut des Ohrläppchens.

Auswertung der Messergebnisse

Die einzelnen Messungen der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln während des Untersuchungszeitraumes wurden verglichen, indem für jeden Probanden der jeweilige Widerstandswert der vorgeschalteten Stenose, bei dem sich elektromyoghraphisch eine Ermüdung gezeigt hatte, zu dem bodyplethysmographischen gemessenen Atemwegswiderstand des Patienten addiert wurde. Aus den Einzelwerten der Probanden wurden, getrennt für die Gruppen A und B, für jeden Untersuchungszeitpunkt Mittelwerte und Standardabweichungen gebildet. Analog erfolgte die Auswertung der Beinmuskelermüdung sowie der Lungenfunktionsoparameter. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten wurden innerhalb der beiden Patientengruppen mit dem Wilcoxon-Test, die Unterschiede zwischen A und B mit dem t-Test auf ihre Signifikanz geprüft. Als signifikant galt eine Irrtumswahr-

scheinlichkeit von $p \leq 0{,}05$.

Ergebnisse

Die Meßwerte der Leistungsfähigkeit der Atem- und Beinmuskeln und von Standardparametern der Lungenfunktion sind für die Patienten mit (Gruppe A) und ohne (Gruppe B) Training in den Abb. 1-4 während des 3-monatigen Untersuchungszeitraumes dargestellt. Für alle Parameter fand sich eine hohe intra- und interindividuelle Streuung. Der Vergleich der einzelnen Parameter im Längsschnitt, sowie zwischen A und B ließ folgende Tendenzen erkennen:

1) Innerhalb beider Gruppen ändern sich die maximalen in- und exspiratorischen Munddrücke ($P_{I\ MAX}$ und $P_{E\ MAX}$) nicht signifikant (Abb. 1).
2) Der Widerstand, bei dem elektromyographisch eine Ermüdung der Atemmuskeln (Mm.intercostales ext.) feststellbar war, änderte sich während des körperlichen Trainings in der Gruppe A nicht; auch der Vergleich zwischen A und B sowie die Verlaufsmessungen der Kontrollgruppe, ergaben keine signifikanten Unterschiede (oberer Teil der Abb. 2). Nur bei 4 von 10 Patienten der Gruppe A nahm die Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln zu, insbesondere in den ersten 4 Wochen des Trainings. Danach nahmen trotz Fortsetzung des Trainings die Ausdauer und Kraft der Atemmuskeln nicht weiter zu, blieben aber gegenüber den Ausgangswerten auf einem höheren Niveau.
   8 von 10 Patienten der Gruppe A gaben subjektiv im Gegensatz zu den Patienten der Gruppe B eine höhere Belastbarkeit nach der Trainingsperiode an, die

sich auch in wesentlich höheren Trainingsleistungen manifestierte. Die Trainingsleistung, gemessen als Produkt aus Stufenzahl und Steiggeschwindigkeit, stieg in Gruppe A um 70 % gegenüber dem Ausgangswert an. Dieser Anstieg war signifikant.
Dem unteren Teil der Abb. 2 ist zu entnehmen, daß der bodyplethysmographisch bestimmte Atemwegswiderstand Raw innerhalb der Gruppen und zwischen den Gruppen A und B während der gesamten Untersuchungsperiode keine Unterschiede aufwies.

3) Die Leistungsfähigkeit der Beinmuskeln (M.gastrocnemius), gemessen in Form der Ermüdbarkeit beim Treten gegen wachsende Widerstände, nahm hingegen in der Gruppe A während des körperlichen Trainings zu, während in Gruppe B keine Änderung gegenüber den Ausgangswerten auftrat. Die größte Zunahme der Leistungsfähigkeit des M.gastrocnemius trat dabei während der ersten 3 Trainingswochen auf. Bei gleichen Ausgangswerten lagen die Mittelwerte der Leistungsfähigkeit der Beinmuskeln für alle Meßpunkte während der 3 monatigen Periode in Gruppe A höher als in B (Abb.3).

4) Die Lungenvolumina, FEV_1 , Blutgase (Abb.4) und der Atemwegswiderstand (Abb.2) zeigten bei großer Streuung der Meßwerte weder innerhalb der Gruppen noch zwischen A und B signifikante Unterschiede während des Beobachtungszeitraumes.

Diskussion

Kritik der Methodik

Auswahl der Patienten

In die vorliegende Studie wurden nur solche Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen einbezogen, die jünger als 65 Jahre waren, die während des Untersuchungszeitraumes bezüglich ihrer Atemwegsobstruktion unter einer Therapie mit B_2- Sympathikomimetika und Theophyllinpräparaten stabil waren und nicht stationär behandelt werden mußten, die ferner nicht kortikoidbedürftig waren und deren arterieller pCO_2 unter 44 mmHg lag.
Die Altersbegrenzung lag bei 65 Jahren, da eine Trainierbarkeit des kardiopulmonalen Systems nur bis zu dieser Grenze gesichert erscheint (15), für höhere Altersgruppen fehlen entsprechende Daten. Während sich die beiden Gruppen bezüglich Art der Erkrankung, Lungenfunktionseinschränkung, Geschlecht und Medikation nicht unterschieden, lag das Durchschnittsalter in der Kontrollgruppe (B) niedriger als in der trainierten Gruppe (A). Dieser Altersunterschied könnte eine stärkere körperliche Aktivität während des Alltages in Gruppe B als in Gruppe A vermuten lassen, so daß trotz des fehlenden Trainingsprogramms die Patienten der Kontrollgruppe im Rahmen ihrer täglichen körperlichen Aktivität stärker als die der Gruppe A bezüglich ihrer Atem- und Beimuskeln trainiert würden. Die bei A und B gleichen Ausgangswerte der Leistungsfähigkeit von Atem- und Beinmuskeln zu Beginn der Untersuchung sowie die in Gruppe B gegenüber den Ausgangswerten nicht veränderten Werte von Kraft und Ausdauer der Atem- und Beinmuskeln

am Ende des Beobachtungszeitraumes sprechen jedoch dafür, daß die körperliche Aktivität im Alltag weder zu einem nachweisbaren Trainingseffekt auf die Atem- und Beinmuskeln in Gruppe B noch zu einer höheren Leistungsfähigkeit beider Muskelgruppen gegenüber A geführt hat (Abb.1,2 und 3).
Auf die Konstanz der broncholytischen Therapie und das Fehlen einer Kortikoidmedikation wurde großer Wert gelegt, da einerseits den Kortikoiden ein schwächender Effekt auf die Muskelkraft zukommen kann (13), andererseits für die Theophylline eine Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln fördernde Wirkung diskutiert wird (cf.17).

Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Atemmuskeln

Die Kraftentfaltung der Atemmuskeln wurde durch Messung der maximalen in- und exspiratorischen Munddrücke bestimmt. Diese Bestimmung ist wie nahezu jeder Test mit dem die Muskelkraft analysiert wird, von der Mitarbeit des Probanden abhängig. Nach Braun (cf.8) gehen die Resultate von $P_{I\ MAX}$ mit den Meßwerten des transdiaphragmatischen Druckes einher und sind daher wegen der geringeren Belästigung des Patienten für die klinische Anwendung vorzuziehen. Trotz der Abhängigkeit der Munddrücke von der Mitarbeit der Probanden erscheinen die vorliegenden Messungen valide, da sie bei Mehrfachbestimmung an einem Versuchstage nur geringe (<10%) Schwankungen aufwiesen, da die Patienten motiviert waren und keinerlei schmerzreflektorische Hemmung von tiefer In- und Exspiration vorhanden war.
Die Ausdauer der Atemmuskeln wurde durch Bestimmung der

elektromyographischen Ermüdbarkeit bei Atmung gegen zunehmende externe Widerstände gemessen. Die Problematik der Festlegung der Muskelermüdung aus der Verschiebung des elektromyographischen Frequenzspektrums wurde an anderer Stelle (29) ausführlich dargelegt. Als Repräsentanten der inspiratorisch wirksamen Atemmuskeln wurde nicht das Diaphragma, sondern die Mm. intercostales ext. ausgewählt, da sich einerseits beide Muskelgruppen bei der Bestimmung der elektromyographischen Muskelermüdung nach früheren Messungen gleichartig verhalten, und andererseits bei Ableitungen vom Diaphragma über Oberflächenelektroden Störeinflüsse der Abdominalmuskeln auftreten. Die Störung des EMG- Signals der Mm.intercostales ext. durch die Aktivität der Mm. pectorales wurde durch Ruhigstellung der Arme während der Messungen ausgeschaltet, und Einflüsse des EKG- Signals durch Positionierung der Elektroden im 2./3. Interkostalraum rechts parasternal so gering wie möglich gehalten.

Auswahl und Dauer des Trainings

In der vorliegenden Studie wurde Treppensteigen, d.h. eine für die Atemmuskeln nicht spezifische Trainingsart, ausgewählt, um Kraft und Ausdauer der Inspirationsmuskeln zu verbessern. Wenn die körperliche Belastbarkeit bei den Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion durch eine Ermüdung der Atemmuskeln limitiert wird (12,26), ist durch ein körperliches Trainingsprogramm auch eine verbesserte Leistungsfähigkeit, zumindest der inspiratorisch wirksamen Atemmuskeln, zu erwarten, wie dies auch von Braun (cf.8) angegeben wird. Gegenüber den spezi-

fischen Trainingsformen, der isokapnischen Hyperventilation und dem Atmen durch inspiratorisch wirksame Widerstände, hat dieses Verfahren den Vorteil, daß das Training ohne Schwierigkeiten ambulant durchgeführt werden kann, und daß keine spezielle Einübung in die Art des Trainings erforderlich ist. Mit Hilfe des 3 mal täglich durchgeführten Trainings dürften sowohl die Kraft als auch die Ausdauer der Skelettmuskeln gesteigert werden (3), wobei Intensität und Häufigkeit des Trainings von größerer Bedeutung für die Effektivität des Trainings sein dürften als die Trainingsdauer (cf.1).

Interpretation der Messergebnisse

Wesentlichstes Resultat der vorliegenden Studie ist, daß ein körperliches Trainingsprogramm über 3 Monate nicht zu einer Besserung der Lungenfunktionsparameter und bei der Mehrzahl der Patienten nicht zu einer Steigerung von Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln führte (Abb. 1-4). Als mögliche Ursachen des ausbleibenden Trainingserfolges bezüglich Ausdauer und Kraftentfaltung der Atemmuskeln sind eine fehlende Trainierbarkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion, ein bezüglich der Leistungssteigerung der Atemmuskeln zu ungezieltes Training oder eine zu geringe Trainingsintensität bzw. Trainingsdauer zu diskutieren. Die aufwendigere Atemarbeit infolge der Atemwegsobstruktion könnte bei den Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion theoretisch einen natürlichen Trainingseffekt auf das Diaphragma und die Mm.intercostales ausüben. Es hat sich jedoch gezeigt, daß Patienten mit chronisch

obstruktiven Atemwegserkrankungen weder eine gesteigerte Atemmuskelkraft (21), noch einen höheren Anteil ermüdungsresistenter Fasern in Ihren Atemmuskeln aufweisen (25). Die Atemmuskeln von Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion zeigen vielmehr eher eine Atrophie (8,25) und einen verminderten Energieumsatz (8,9). Daher ist ein infolge der Atemwegsobstruktion optimaler Trainingszustand der Atemmuskeln als Ursache für fehlende Trainingseffekte in der vorliegenden Studie eher unwahrscheinlich. Gegen das Argument, daß Trainingsintensität und Trainingsdauer unzureichend waren, um einen leistungssteigernden Effekt zu erzielen, spricht, daß die Messungen der Ermüdbarkeit des M. gastrocnemius eine signifikante, über die gesamte Untersuchungsdauer anhaltende höhere Leistungsfähigkeit in der trainierten Gruppe A im Vergleich zur Kontrollgruppe B ergab. Dies mag auch die von den trainierten Patienten subjektiv empfundene und durch die größere Trainingsleistung objektivierbare Leistungssteigerung erklären. Als mögliche Ursache der fehlenden Leistungssteigerung der Atemmuskeln der Patienten der Gruppe A kann die fehlende Spezifität des für die Atemmuskeln im Gegensatz zur isokapnischen Hyperventilation oder der Atmung über inspiratorisch wirksame Widerstände nicht gezielten körperlichen Trainings in der vorliegenden Studie (Treppensteigen) angeführt werden. Wenn jedoch die körperliche Belastbarkeit bei Patienten mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen durch fehlende Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln limitiert wird, wie dies von Bellemare et al. (4) und Smidt et al. (26) festgestellt wurde, müßte auch

eine vermehrte körperliche Aktivität zu einer Leistungssteigerung des limitierenden Gliedes in der Kette, der Atemmuskeln, führen. Unklar bleibt weshalb 4 der 10 Patienten der Gruppe A einen Trainingseffekt der Atemmuskeln erkennen ließen. Sie unterschieden sich bezüglich Alter, Geschlecht, Dyspnoe, Medikation, Trainingsdauer und Trainingsintensität nicht von den 6 anderen Patienten der Gruppe A. Allerdings lag die Einsekundenkapazität vor Trainingsbeginn bei den 4 'trainierten' im Mittel um 22% höher, als bei den 6 Patienten ohne Trainingseffekt auf die Atemmuskeln, während die übrigen Lungenfunktionsparameter, einschließlich der Resistance, sich innerhalb dieser beiden Untergruppen nicht unterschieden.

Vergleich mit Angaben in der Literatur

Die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen zur Frage der Trainierbarkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion sind in Tab.2 zusammengefasst. Nur in wenigen Studien wurde der Trainingseffekt im Vergleich zu einer nicht trainierten Kontrollgruppe geprüft. Aus Tab.2 geht hervor, daß nur in einer Studie (2) eine Besserung lungenfunktionsanalytischer Parameter während der Trainingsperiode festzustellen war, wobei nur ein Parameter (Vitalkapazität) bei einem Teil der Patienten gemessen wurde.
Eine Leistungssteigerung der Atemmuskeln war nur in Studien mit spezifischen Atemmuskeltraining (Tab.2), der isokapnischen Hyperventilation oder dem Atemtraining über inspiratorisch wirksame Widerstände nachweisbar.

In Übereinstimmung mit der vorliegenden Studie konnten auch Pardy et al. (18), Belman und Kendregan (6) und Cooper (11) keine Trainingseffekte auf die Atemmuskeln bei vermehrter körperlicher Aktivität feststellen.

Schlußfolgerungen

Nach den vorliegenden Angaben in der Literatur und den Resultaten unserer Studie, kann ein Trainingseffekt auf die Atemmuskeln durch unspezifisches, d.h. die Atemmuskeln nicht selektiv beanspruchendes Training, bei Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion, nur bei einem Teil der Patienten nachgewiesen werden. Ebenso lässt sich keine Verbesserung lungenfunktionsanalytischer Parameter durch die durchgeführte Trainingsform objektivieren. Wegen der subjektiv empfundenen, und anhand der Ermüdbarkeitsmessung des M.gastrocnemius und der höheren Trainingsleistungen auch objektivierbaren Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit, kommt einem unspezifischen Training durch vermehrte körperliche Aktivität dennoch ein Platz in der Behandlung von Patienten mit chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen zu. Weitere Studien sind erforderlich, um das Trainingsprogramm zu optimieren, um die Effekte eines für die Atemmuskeln spezifischen mit einem nicht speziell die Atemmuskeln beanspruchenden Training zu vergleichen und um festzustellen, welche Patienten von einem für die Atemmuskeln spezifischen oder nicht spezifischen Training profitieren.

Literatur

1 Aldrich, T.K.: The application of endurance training techniques to the respiratory muscles in COPD. Lung 163 (1985) 15-25.
2 Andersen,J.B., L.Dragsted, T.Kann, S.H.Johannsen, K.Bay Nielsen, E.Karbo, L.Bentzen: Resistive breathing training in severe chronic obstructive pulmonary disease. A pilot study. Scand.J.Resp.Dis.60 (1979) 151-156
3 Anderson,T., J.T.Kearney: Effekt of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. Res.Quart.Exerc.Sport 53 (1982) 1-7
4 Bellemare, F., A.Grassino: Force reserve of diaphragma in patients with chronic obstructive pulmonary disease. J.Appl.Physiol. 55 (1983) 8-15
5 Belman, M.J., C.Mittman: Ventilatory muscle training improves exercise capacity in chronic obstructive pulmonary disease patients. Am.Rev.Resp.Dis. 121 (1980) 273-280
6 Belman, M.J., B.A. Kendregan: Physical training fails to improve ventilatory muscle endurance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Chest 81 (1982) 440-444
7 Bjerre- Jepsen, K., N.H.Secher, A. Kok- Jensen: Inspiratory resistance training in severe chronic pulmonary disease. Eur.J.Respir.Dis. 62 (1981) 405-411
8 Braun, N.M.T., J.Faulkner, R.L.Hughes, C.Roussos, V.Sahgal: When should respiratory muscles be exercised ? Chest 84 (1983) 76-84
9 Campbell, J.A., R.L.Hughes, V.Sahgal, J.Fredrickson, T.W.Shields: Alterations in intercostal muscle morphology and biochemistry in patients with obstructive lung disease. Am.Rev.Resp.Dis. 122 (1980) 679-686
10 Chen, H., R.Dukes, B.J.Martin: Inspiratory muscle training in patients with chronic obstuctive pulmonary disease. Am.Rev.Resp.Dis. (1985) 251-255
11 Cooper, C.B., C.M.Smith, I.R.Cameron: Is respiratory muscle training of benefit to patients with chronic obstructive airway disease ? Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 20 (1984) 20 A
12 Grassino, A., D.Gross, P.T.Macklem, C.Roussos, G.Zagelbaum: Inspiratory muscle fatigue as a factor limiting exercise. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 15 (1979) 105-111
13 Green, M., J.Moxham: Respiratory muscles. In Flenley,D.C., T.L.Petty (Hrsgb.): Recent advances in respiratory medicine. No.3, S.1-20, Churchill Livingstone- Edinburgh- London- Melbourne- New York (1983)
14 Jardim, J.R., S.V.Mayo, J.Goday, A.L.G. Fernandes, J.E.Afonso: Inspiratory muscle and conditioning training in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients (Abstract). Am.Rev.Resp.Dis. 125 (2) (1982) 132
15 Kaiser, E., I.Petersen: Frequency analysis of muscle action potentials during tetanic contraction.

Elektromyography 3 (1963) 5-17
16 Lübs, E.D.: Untersuchungen zur Trainierbarkeit des kardiopulmonalen Systems im höheren Lebensalter. Therapiewoche 34 (1984) 3904-3907
17 Moxham, J., M.Green: Aminophylline and the respiratory muscles. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 21 (1985) 1-6
18 Pardy, R.L., R.N.Rivington, P.J.Despas, P.T,Macklem: Inspiratory muscle training compared with physiotherapy in patients with chronic airflow limitation. Am.Rev.Resp.Dis. 123 (1981)a 421-425
19 Pardy, R.L., R.N.Rivington, P.J.Despas, P.T.Macklem: The effects of inspiratory muscle training on exercise performance in chronic airflow limitation. Am.Rev.Resp.Dis. 123 (1981)b 426-433
20 Peress, L., P.McLean, C.R. Woolf, N.Zamel: Ventilatory muscle training in obstructive lung disease. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 15 (1979) 91-92
21 Rochester, D.F., N.S.Arora, N.M.T.Braun, S.K.Goldberg: The respiratory muscles in chronic obstructive pulmonary disease. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 15 (1979)a 951-975
22 Rochester, D.F., N.M.T.Braun, N.S.Arora: Respiratory muscle strenght in chronic obstructive pulmonary disease. Am.Rev.Resp.Dis. 119 (Suppl.) (1979)b 151-154
23 Roussos, C.,:The failing ventilatory pump. Lung 160 (1982) 59-84
24 Roussos, C., P.T.Macklem: The respiratory muscles. N.Engl.J.Med. 307 (1982) 786-796
25 Sanchez, J., J.P. Derenne, B.Debesse, M.Riquet, H.Monod: Typology of the respiratory muscles in normal men and in patients with moderate chronic respiratory disease. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 18 (1982) 901-914
26 Smidt, U., H.Worth, W.Petro: Ventilatory limitation of exercise in patients with chronic bronchitis and/or emphysema. Bull.Eur.Physiopathol.Respir. 15 (1979) 95-101
27 Sonne, L.J., J.A.Davis: Increased exercise performance in patients with severe COPD following inspiratory resistive training. Chest 81 (1982) 436-439
28 Williams, J.P., C.M.Smith, C.R.McGavin: Diaphragmatic breathing training and walking performance in chronic airways obstruction. Br.J.Dis.Chest. 76 (1982) 164-166
29 Worth, H., C.Grundmann, G.Goekenjan, U.Smidt, G.Irlich, F.Loogen: Elektromyographische Bestimmung der Ermüdbarkeit von Atem und Beinmuskeln vor und nach aorto-koronarer Bypass- Operation. Respiration 46 (1984) 33-44

Tabelle 1

Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte (SEM) einiger biometrischer Daten und von Ausgangswerten einiger Lungenfunktionsparameter der Gruppen A und B

Parameter	A	SEM	B	SEM	
Alter (J)	51,0	16,0	35,3	14,0	s
Gewicht (kg)	65,5	17,6	75,0	21,0	ns
Grösse (cm)	167,8	7,6	174,6	9,6	ns
VK (% Soll)	66,8	16,7	65,9	13,3	ns
RV (% Soll)	183,5	70,4	175,5	32,0	ns
FEV (% Soll)	75,4	20,3	67,1	18,2	ns
TGV (% Soll)	129,9	38,6	136,9	52,3	ns
Raw ($cmH_2O/l/s$)	8,1	3,4	6,8	4,7	ns

s = signifikant ns = nicht signifikant

Tabelle 2

Untersuchungsergebnisse zur Trainierbarkeit der Atemmuskeln bei Patienten mit chronischer Atemwegsobstruktion Trainingsarten: Vermehrtes körperliches Training ohne spezifisches Atemmuskeltraining (E), Atmung durch inspiratorisch wirksame Widerstände (RB), isokapnische Hyperventilation (H), Zwerchfellatmung (Z). Die Klammern innerhalb der Tabelle kennzeichnen unzureichende Meßdaten bzw. die fehlende Eindeutigkeit einer Kontrollgruppe.

Autor (Jahr)	Probanden	Kontrollgruppe	Trainingsart	Trainingsdauer (Wo)	Effekte auf Atemmuskeln	Effekte auf Lungenfunktion
Andersen (1979)	10	-	RB	8	+	(+)
Peress (1979)	6	+	H	4	+/-	-
Belman (1980)	10	-	H	6	+	-
Bjerre-Jepsen (1981)	14	+	RB	6	-	-
Pardy (1981)a	17	(8) (+) (9)	E RB	8 8	- +	- -
Pardy (1981)b	12	(-)	RB	8	+/-	-
Belman (1982)	15	-	E	6	-	-
Jardim (1982)	8	-	RB	8	+	-
Sonne (1982)	6	+	RB	6	+	-
Williams (1982)	8	+	Z	3	-	-
Cooper (1984)	15	(6) - (9)	E RB	8 8	- -	- -
Chen (1985)	7	+	RB	4	+	-
eigene Untersuchungen (1985)	10	+	E	12	-	-

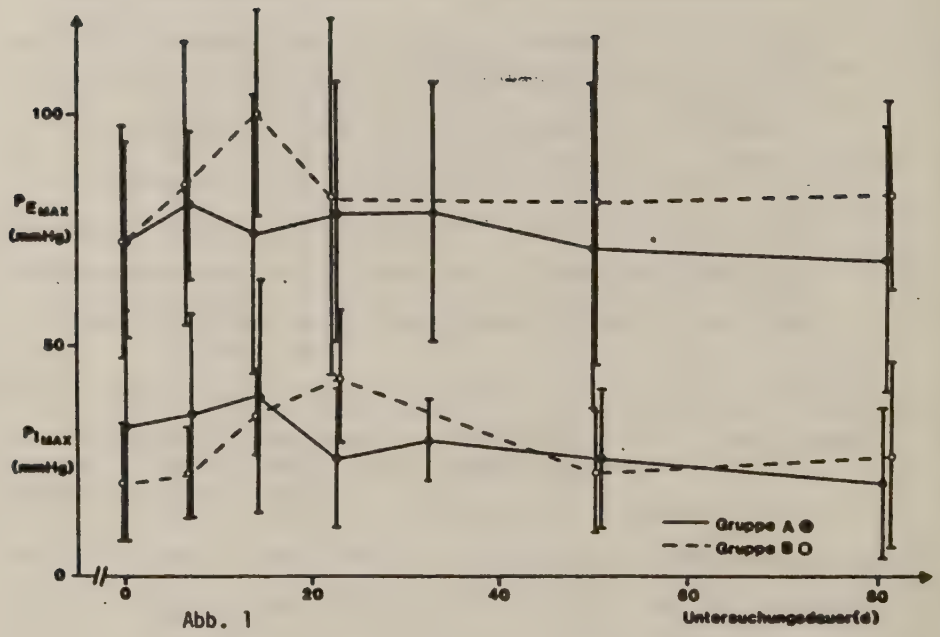

Abb. 1

Abb. 1: Mittelwerte (± SEM) der maximalen in- und exspiratorischen Munddrücke $P_{I\ MAX}$ und $P_{E\ MAX}$ in der Gruppe A (mit Training) und der Kontrollgruppe B (ohne Training) während der Beobachtungsperiode.

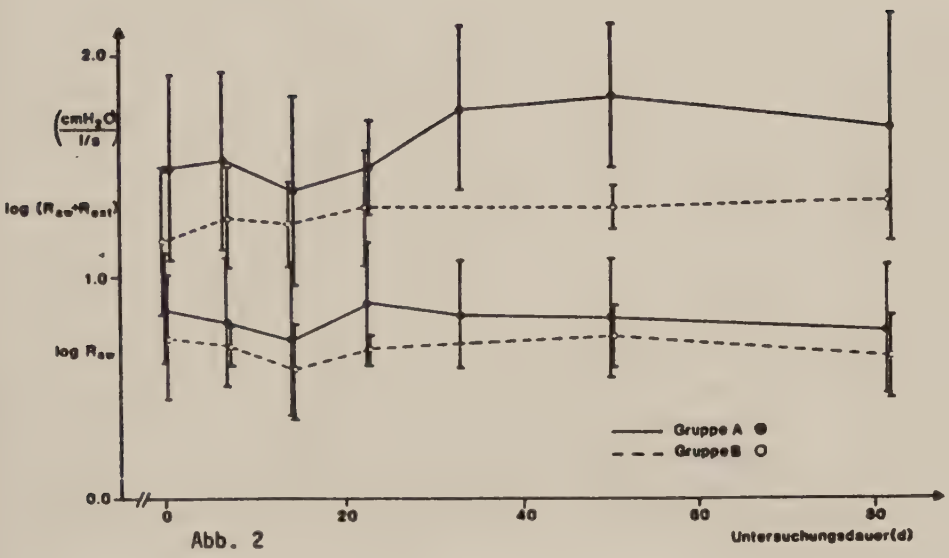

Abb. 2

Abb. 2: Mittelwerte (±SEM) der Atemwegswiderstände sowie der Gesamtwiderstände (Rau + Rext (durch die vorgeschaltete Stenose)) bei denen eine Atemmuskelermüdung für die Gruppen A und B feststellbar war.

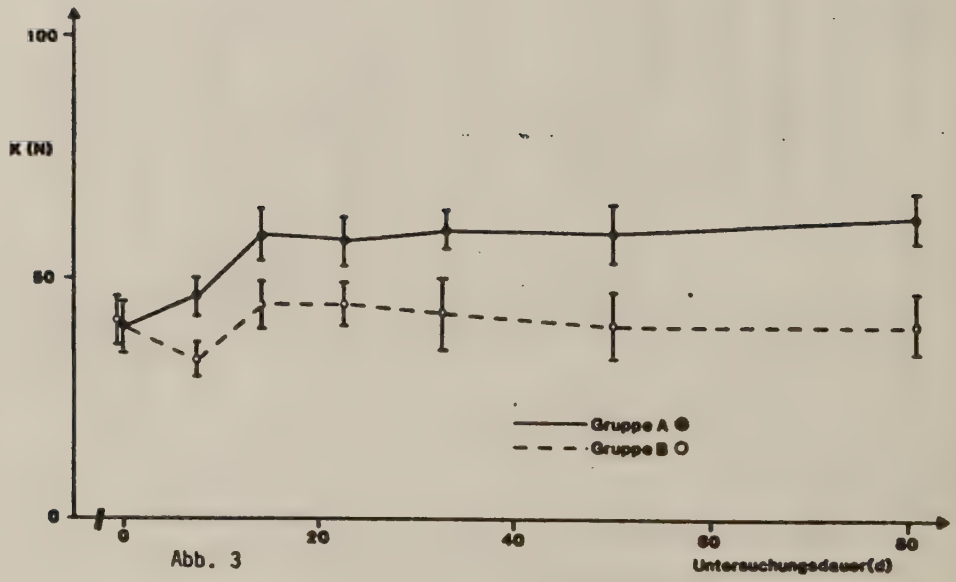

Abb. 3: Mittelwerte (± SEM) der Kraft bei der die Beinmuskulatur elektromyographisch Ermüdungszeichen aufwies, für die Gruppen A und B.

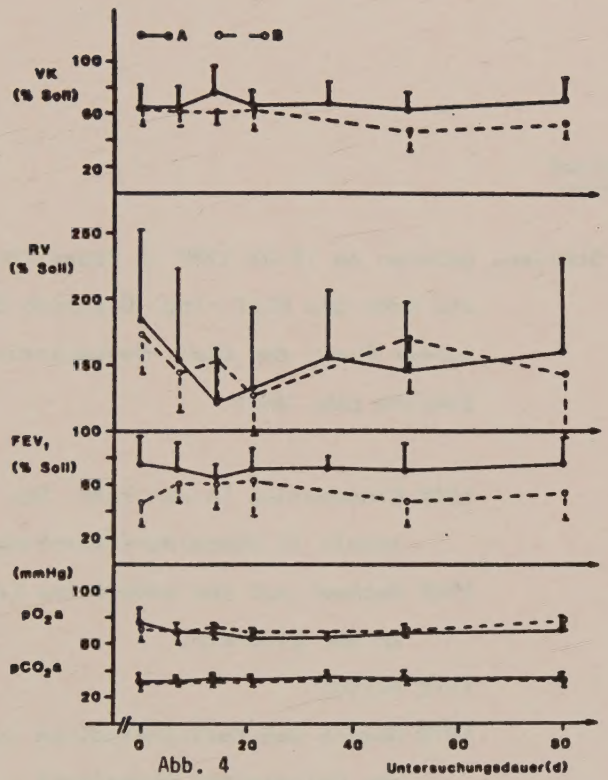

Abb. 4

Abb. 4: Vergleich der Lungenfunktionsparameter Vitalkapazität (VK), Residualvolumen (RV), 1- Sekundenkapazität (FEV_1) und der Blutgase (pO_2a, pCO_2a) zwischen der Gruppe A und der Kontrollgruppe B. Die Mittelwerte und Standardabweichungen (±SEM) beider Gruppen sind gekennzeichnet.

Lebenslauf

Helge Störiko, geboren am 19.02.1959 in Düsseldorf als Sohn des Dipl.-Ing. Dietrich Störiko und seiner Frau, der Dipl.-Volkswirtin Margret Störiko geb. Wahl

1965 Einschulung in der kath. Don Bosco Grundschule in Düsseldorf-Oberkassel

1969 Wechsel auf das städtische Lessinggymnasium an der Ellerstr.

1978 Abitur

1978 Beginn des Medizinstudiums zum WS 78/79 an der Universität Düsseldorf

1980 August Physikum

1981 August 1. Staatsexamen

1984 März 2. Staatsexasmen

1985 April/Mai 3. Staatsexamen

Approbation zum Arzt.